

Computer-aided intra-operative anatomical object visualization method used during complex brain surgery

Patent Number: DE19807884

Publication date: 1999-09-09

Inventor(s): BRACK CHRISTIAN (DE); ROTH MICHAEL (DE); SCHWEIKARD ACHIM (DE)

Applicant(s): SCHWEIKARD (DE)

Requested Patent: ☐ DE19807884

Application Number: DE19981007884 19980225

Priority Number(s): DE19981007884 19980225

IPC Classification: A61B5/103; A61B6/03

EC Classification: A61B6/08; A61B19/00N

Equivalents:

Abstract

The visualization method provides a three-dimensional image of a required anatomical object (8) during surgery. It uses an imaging device (1), e.g. an X-ray device, to provide images of an anatomical object from different positions, with measurement or calculation of the relative position and orientation of the images, which are compared with preoperative images. It shows the position of the anatomical object relative to at least one surgical instrument (7). An independent claim for a device for intra-operative visualization of an anatomical object is also provided.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

[illegible]

1. The first step is to identify the problem or question that needs to be answered. This involves understanding the context and the specific requirements of the task.

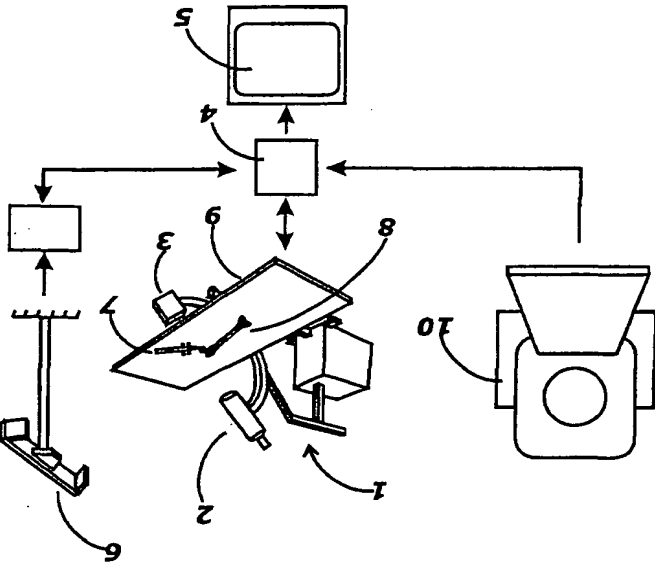
[illegible][illegible]

57) Gemäß dem Verfahren zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte

58) Verfahren und Vorrichtung zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten

59) Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen



71) Anmelder: Schweikard, Achim, Prof. Dr., 20357 Hamburg, DE

74) Vertreter: Haft, von Puttkamer, Berngruber, Czybulka, 81669 München

72) Erfinder: Schweikard, Achim, Prof., 20357 Hamburg, DE; Brack, Christian, 86459 Gessertshausen, DE; Roth, Michael, 86153 Augsburg, DE

58) Entgegenhaltungen: CINGUIN, P. (u.a.): Computer Assisted Medical Interventions, in: Z.: IEEE Engineering in Medicine and Biology, Vol. 14, Number 3 Mai/Juni 1995, S. 254-263; VÖLTER, S. (u.a.): Virtual-Reality in der Orthopädie: Prinzipien, Möglichkeiten und Perspektiven in Z.: Z. Orthop. 133 (1995), S. 492-500;

19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT



21) Aktenzeichen: 198 07 884.6

22) Anmeldetag: 25. 2. 98

43) Offenlegungstag: 9. 9. 99

10) DE 198 07 884 A 1

12) Offenlegungsschrift

51) Int. Cl. 6: A61 B 5/103

A 61 B 6/03



Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte.

Während chirurgischer Operationen wird üblicherweise, um das zu behandelnde Zielobjekt mit den chirurgischen Instrumenten zu erreichen, lediglich ein kleiner Schnitt durch die Haut des Patienten vorgenommen, wodurch es für den Chirurgen oft schwierig, sogar unmöglich ist, operationssrelevante anatomische Strukturen des Patienten optisch zu erfassen. Deswegen gewinnen Verfahren zur Visualisierung anatomischer Strukturen und Zielobjekte sowie auch der exakten Position der chirurgischen Instrumente zunehmend an Bedeutung.

Außerdem ist es zweckmäßig, zumindest für komplexe Operationen, den Verlauf der Operation im Voraus anhand von meistens rechnergenerierten Aufnahmen zu planen, die dann während der Operation mit den aktuell gewonnenen Aufnahmen verglichen werden, um dadurch eine exakte Durchführung zu gewährleisten.

Verfahren zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte sind bekannt. In der US-A-5 662 111 ist ein Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten des Kopfes eines Patienten während einer Hirnoperation offenbart, welches einen stereotaktischen Kopfhalter verwendet. Die relevanten Koordinaten werden zuerst im Koordinatensystem des Halters bestimmt und anschließend durch den angeschlossenen Rechner in Koordinaten des Erfassungssystems transformiert. Auf diese Weise können sie mit den gespeicherten präoperativen Aufnahmen verglichen werden.

Alternativ wird die Verwendung von Markern am Patienten als Referenzpunkte vorgeschlagen. Dieses Verfahren ist nur für Hirnoperationen einsetzbar. Zudem kann das Anbringen des Kopfhalters und der Referenzmarker für den Patienten für mehrere Stunden angebracht bleiben müssen. Außerdem verlängert sich dadurch die Dauer der Gesamtdauer, denn der Rahmen muß angeschraubt werden, bevor die Tomographie aufgenommen wird und während der Tomographie und der Planung sowie auch während der Ausführung ähnliches Verfahren für Hirnoperationen ist auch aus der US 5 383 454 bekannt, wobei ein Referenzum um den Kopf des Patienten angebracht wird und die so ermittelten Koordinaten in Koordinaten des Erfassungssystems transformiert werden.

Ein Problem bei Verfahren dieser Art ist die Kalibrierung der Erfassungssysteme bzw. Aufnahmevorrichtungen, die auch räumliche Abhängigkeiten aufweisen kann. Insbesondere können kleine räumliche Variationen des Erdmagnetfeldes zu einer Variation der Verzerrung der gewonnenen Bilder führen, die wiederum in einer künstlichen Ungenauigkeit der Auswertung der Bilder resultieren können.

In der Veröffentlichung Proc. Int. Symp. Computer Assisted Radiology (CAR), Paris, 781-788, 1996 ist ein Verfahren zur Kalibrierung einer Röntgenkamera und anschließender Bestimmung der räumlichen Koordinaten eines Zielobjektes eines Patienten offenbart. Hierbei werden zwei dreidimensionale Kalibrierkörper verwendet, die leicht zu detektierende Merkmale enthalten, wobei der eine direkt vor dem bewegbaren Röntgenverstärker und der andere fest im Raum angeordnet ist. Aus der Kenntnis der Größe und Kon- tur der Kalibrierkörper wird eine parametrisierte Abbildungsmatrix erstellt, die anschließend derart optimiert wird, daß die Bilder der Kalibrierkörper aus mindestens zwei unterschiedlichen Positionen der Kalibrierkörper aus mindestens zwei un-

terschiedlichen Winkeln von Fehlern befreit sind. Während der Operation wird jede Aufnahme kalibriert, mit dem Ziel, entzerrte und präzise Bilder zu generieren.

Bei dieser Vorgehensweise sind die Referenzpunkte der Kalibrierkörper stets in dem Bild enthalten. Zudem sind die Kalibrierkörper für das Rechenverfahren nicht ohne weiteres vom Operationsgegensand, z. B. einem Knochen zu unterscheiden.

Die kontinuierliche ortsabhängige Kalibrierung erfordert, auch aus dem oben genannten Grund, einen hohen Rechenaufwand und Zeitaufwand, wodurch die Dauer von Operationen verlängert und u. U. das Risiko für den Patienten erhöht wird. Bei einer Verlängerung des Eingriffs muß die Blutsperrung aktiv bleiben, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit von Komplikationen erhöht. Die Benutzung von Kalibrierkörpern während der Operation verringert nicht nur die Zuverlässigkeit, sondern es entsteht auch eine Dämpfung der Bilder, wodurch sich der Kontrast verschlechtert; dadurch wird die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der anschließenden Bildverarbeitung wesentlich erhöht.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ausgehend von diesem Stand der Technik, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, welche eine schnelle und präzise intraoperative, berührungsfreie Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte ermöglichen. Außerdem soll eine dreidimensionale Rekonstruktion anhand von Einzelaufnahmen möglich sein, um somit in Einzelanahmen nicht erfassbare Zielobjekte visualisieren zu können.

Es gibt jedoch Strukturen wie z. B. Weichteilstrukturen oder Tumoren, die nicht in Einzelaufnahmen erfassbar sind. Somit entsteht die Notwendigkeit einer dreidimensionalen Rekonstruktion des Zielobjektes anhand von Einzelaufnahmen. Eine derartige Vorgehensweise würde es ermöglichen, für jede Art von Operation ohne stereotaktische Vorrichtung und Marker eine berührungsfreie vollständige intraoperative Bestimmung der räumlichen Koordinaten des Zielobjektes zu erhalten und die relative Position eines Zielobjektes zu einem oder zu mehreren chirurgischen Instrumenten zu ermitteln und zu visualisieren.

Um eine möglichst exakte Visualisierung zu gewährleisten, soll das erfindungsgemäße Verfahren den Schritt der Kalibrierung enthalten, wobei während der Operation auf Kalibrierkörper und stereotaktische Halter oder Marker verzichtet werden soll.

Außerdem soll das vorgeschlagene Verfahren unabhängig von der Art der Bildfassung sein, so daß Röntgen-, Ultraschall-, CT-, Infrarot und andere bildgebende Verfahren eingesetzt werden können.

Diese Aufgabe ist gemäß der Erfindung für ein Verfahren durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst; für eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens durch Merkmale der Ansprüche 19 und 25.

Weitere Merkmale und Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Demgemäß wird vorgeschlagen, mittels der Aufnahmevorrichtung eine oder mehrere Aufnahmen aus unterschiedlicher Position bzw. Orientierung zu machen, wobei bei mehreren Aufnahmen, die für eine dreidimensionale Rekonstruktion erforderlich sind, die relativen Positionen bzw. Orientierungen der Aufnahmen zueinander bestimmt oder berechnet werden.

Zur Bestimmung der relativen Positionen bzw. Orientierungen der Aufnahmen zueinander wird die Position und Orientierung der Aufnahmevorrichtung mittels eines Tracking-Systems, z. B. eines Infrarot-Tracking-Systems oder mittels einer auf der Aufnahmenvorrichtung angebrachten

65

70

75

80

85

90

95

100

105

110

115

120

125

130

135

140

145

150

155

160

165

170

175

180

185

190

195

200

205

210

215

220

225

230

235

240

245

250

255

260

265

270

275

280

285

290

295

300

305

310

315

320

325

330

335

340

345

350

355

360

365

370

375

380

385

390

395

400

405

410

415

420

425

430

435

440

445

450

455

460

465

470

475

480

485

490

495

500

505

510

515

520

525

530

535

540

545

550

555

560

565

570

575

580

585

590

595

600

605

610

615

620

625

630

635

640

645

650

655

660

665

670

675

680

685

690

695

700

705

710

715

720

725

730

735

740

745

750

755

760

765

770

775

780

785

790

795

800

805

810

815

820

825

830

835

840

845

850

855

860

865

870

875

880

885

890

895

900

905

910

915

920

925

930

935

940

945

950

955

960

965

970

975

980

985

990

995

1000

Winkeln aufzunehmen. Dabei werden bekannte Kalibrier-

körper bzw. Kalibrieranordnungen oder an der Aufnahme-
vorrichtung angebrachte Referenzmarken verwendet. An-
schließend werden die - ortsabhängigen - Verzerrungs-
eigenschaften durch ein Kalibrierungs-Parametermodell be-
schrieben und gespeichert und die Kalibrieranordnungen
entfernt. Die Eingabedaten des Kalibrierungs-Parametermo-
dells können sowohl absolute Positionsangaben der Aufnah-
menvorrichtung als auch Sensordaten eines Referenzkörpers
(Referenzmarken) sein.

Die während der Operation mittels der Aufnahmenvorrich-
tung gewonnenen Bilder werden vom Rechner mit Hilfe des
Kalibrierungs-Parametermodells ausgewertet und entzerrt
dargestellt. Wenn während der Operation eine Aufnahme-
richtung ausgesucht wird, der mit einer der bereits gespei-
cherten nicht übereinstimmt, werden die Verzerrungseigen-
schaften durch einen Interpolationsalgorithmus aus dem
Modell ermittelt. Auch diese Daten werden gespeichert, um
bei erneuter Wahl z. B. dieser Aufnahmenvorrichtung das Bild
schneller darstellen zu können. Dabei wird die Position der
Erfassungsvorrichtung, z. B. einer C-Bogen-Röntgenka-
mera kontinuierlich in Echtzeit verfolgt.

Erfundungsgemäß können Warnungen erzeugt werden,
wenn der Fehler bei der intraoperativen Kalibrierung einen
vorbestimmten Wert überschreitet.

Das erfundungsgemäße Verfahren erfordert deutlich weni-
ger Rechen- und Zeitaufwand, da auf bereits vorhandene
Kalibrierungsdaten zugegriffen wird. Zudem wird eine Ope-
ration möglich, bei der auf eine schmerzhaft Fixierung des
Patienten im Operationsbereich verzichtet wird.

Ein weiterer Vorteil des erfundungsgemäßen Verfahrens
besteht darin, daß die intraoperativen Bilder keine störenden
Kalibrierpunkte enthalten. Dadurch erhöht sich die Zuver-
lässigkeit der anschließenden Bildverarbeitung erheblich.
Die Aufnahmenvorrichtung kann eine Röntgen-, Infrarot-,
CT-, MR- oder Ultraschallaufnahmenvorrichtung sein, die
eine oder mehrere Aufnahmeeinrichtungen aufweisen kann.
Die Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläu-
tert. In dieser stellen dar:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des erfundungsge-
mäßes Verfahrens für Röntgenaufnahmenvorrichtungen und
des Aufbaus der Vorrichtung zu dessen Durchführung;

Fig. 2 eine detailliertere Darstellung des Tracking-Sy-
stems aus Fig. 1;

Fig. 3 eine Variante des Systems zur Bestimmung der Po-
sition bzw. Orientierung der Röntgenaufnahmenvorrichtung;
Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Variante des
erfundungsgemäßen Verfahrens für Röntgenaufnahmenvor-
richtungen und des Aufbaus der Vorrichtung zu deren
Durchführung;

Fig. 5 eine Darstellung der Röntgenaufnahmenvorrichtung
aus Fig. 4;

Fig. 6 eine Darstellung einer weiteren bevorzugten Aus-
gestaltung der Röntgenaufnahmenvorrichtung aus Fig. 4;
Fig. 7 eine Illustration der Visualisierung der Position
bzw. Orientierung eines chirurgischen Instrumentes gemäß
der Erfindung;

Fig. 8 eine mit Marken am Rand des Sichtfeldes verse-
hene Röntgenaufnahmenvorrichtung;
Fig. 9 ein mit Referenzmarken versehenes chirurgisches
Instrument; und

Fig. 10 ein robotergeführtes chirurgisches Instrument.
Gemäß Fig. 1 wird eine Röntgenaufnahmenvorrichtung 1
mit einem Detektor 2 und einer Quelle 3 verwendet. Die
Röntgenaufnahmenvorrichtung 1 ist mit einem Rechner 4
verbunden, an dem ein Bildschirm 5 angeschlossen ist. Die
Position und Orientierung der Röntgenaufnahmenvorrich-
tung 1, die als C-Bogen ausgebildet ist, wird mittels eines

Zusätzlich können am Zielobjekt intraoperativ Marken,

die für das Tracking-System sichtbar sind, angebracht und
verfolgt werden. Dadurch können kleine Bewegungen zwi-
schen Aufnahmen ausgeglichen werden.

Alternativ oder zusätzlich dazu kann die relative Lage der
Aufnahmen zueinander gemessen werden oder konstruktiv
onsbedingt durch geeignete Voreinstellungen als bekannt
vorausgesetzt werden. Eine hier zu diesem Zweck vorge-
schlagene Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens
enthält im Rahmen einer bevorzugten Ausgestaltung zwei in
festem Abstand voneinander angeordnete Aufnahmeein-
richtungen, so daß die relative Position und Orientierung der
Aufnahmeeinrichtungen bekannt ist.

Anschließend werden die so gewonnenen Aufnahmen mit
präoperativ gewonnenen und gespeicherten Aufnahmen mit
Hilfe eines Rechners verglichen, um die Position minde-
stens eines chirurgischen oder eines robotergesteuerten chir-
urgischen Instrumentes relativ zum Zielobjekt zu bestim-
men. Mit dieser Information kann die ermittelte Position des
chirurgischen Instrumentes mit einer präoperativ geplanten

und gespeicherten Position verglichen werden, um eine ex-
akte Durchführung der Operation zu gewährleisten. Bei ein-
fachen Operationen kann die Planung auch intraoperativ
stattfinden. In diesem Fall bezieht sich der Datenabgleich
auf intraoperative Aufnahmen. Dabei kann eine optische
oder akustische Warnung erzeugt werden, wenn die Abwei-
chung zwischen Soll- und Istzustand des chirurgischen In-
strumentes relevant ist.

Eine Warnung kann auch dann erzeugt werden, wenn der
Winkelabstand zwischen zwei Aufnahmen zu klein oder un-
geeignet ist oder wenn das Zielobjekt nicht geeignet sichtbar
ist.

Für nicht in Einzelaufnahmen erfassbare Zielobjekte wird
aus mindestens zwei aus unterschiedlicher Orientierung
und/oder Position gewonnenen Aufnahmen intraoperativ
eine dreidimensionale Rekonstruktion berechnet.

Der Vorteil dieses berührungsgelosen Verfahrens liegt auf
der Hand: Es sind keine steriotaktischen Vorrichtungen oder
Marken am Patienten mehr notwendig, die eine Fixierung
des Patienten erfordern und die Operationsdauer um meh-
rere Stunden verlängern können.

Wie oben beschrieben, wird die absolute Stellung der
Aufnahmenvorrichtung erfaßt oder berechnet, oder die abso-
lute Stellung der Aufnahmenvorrichtung und die relative
Stellung von Aufnahmen zueinander oder es wird nur die re-
lative Stellung von Aufnahmen zueinander erfaßt oder be-
rechnet. Im letzten Fall müssen noch die vom absoluten Ort
der Aufnahmenvorrichtung abhängigen Kameraparameter er-
faßt werden.

Erfundungsgemäß besteht eine Möglichkeit hierzu darin,
kleine statische Marken am Rand des Sichtfeldes der Auf-
nahmenvorrichtung (relativ zur Aufnahmenvorrichtung fest
angewiesen) anzubringen.

Es werden dann die relativen Bildpositionen dieser Mar-
ken in eine Serie von Aufnahmen präoperativ bestimmt, wo-
bei jeweils Informationen über die zugehörige Absolutlage
der Aufnahmenvorrichtung oder die zugehörigen Kamerapa-
rameter gespeichert werden. Intraoperativ können dann aus
der relativen Lage der Marken im Bild die zugehörige Infor-
mation über die Absolutposition, die Kameraparameter, Ka-
librierdaten etc. ermittelt oder berechnet werden.

Alternativ kann ein digitaler Bildaufnehmer verwendet
werden, der bereits werkseitig entzerrt ist, z. B. durch Mes-
sung der Magnetfeldinflüsse o.ä.

Desweiteren wird zum Zweck der Kalibrierung vorge-
schlagen, vor der Operation mittels der Aufnahmenvorrich-
tung eine Serie von Bildern aus mehreren unterschiedlichen

1. Verfahren zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte mit Hilfe einer Aufnahmevorrichtung und insbesondere zur intraoperativen dreidimensionalen Visualisierung, für medizinische Eingriffe, dadurch gekennzeichnet,

dadurch, daß die relativen Positionen und Orientierungen der Aufnahmen zueinander, die mittels der Aufnahmevorrichtung (1) gewonnen werden, berechnet werden, gemessen, werden, oder konstruktionsbedingt bestimmt werden.

daß diese Aufnahmen mit präoperativ und/oder intraoperativ gewonnenen Aufnahmen verglichen werden, um die relative Position eines Zielobjektes (8) zu mindestens einem chirurgischen Instrument (7) zu ermitteln und zu visualisieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass die ermittelte Position eines chirurgischen Instrumentes (7) mit einer präoperativ ermittelten und gespeicherten Position verglichen wird, um eine exakte Durchführung der Operation zu gewährleisten.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet,

zeichnen, das für mich in Einzelmaßnahmen erfassbare Zielobjekt (8) aus mindestens zwei aus unterschiedlicher Orientierung und/oder Position gewonnenen Aufnahmen intraoperativ eine dreidimensionale Rekonstruktion eines Zielobjektes (8) berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet,

kennzeichnet, daß als erster Schritt eine Kalibrierung durchgeführt wird, wobei präoperativ mittels der auch bei der Operation verwendeten Aufnahmeverrichtung eine Serie von Aufnahmen aus mehreren unterschiedlichen Winkeln aufgenommen wird, wobei Kalibrierkörper und/oder Kalibrierhilfen eingebracht werden.

brersysteme an der Aufnahmevorrichtung verwendet werden. die Verzerrungseigenschaften der Aufnahmen durch ein ortsbabhängiges Kalibrierungs-Parameterelement präoperativ beschreiben und gespeichert werden, wobei die Kalibrierkörper und/oder Kalibriersysteme an

wobei während der Operation gewonnenen Aufnahmen von einem Rechner mit Hilfe des Kalibrierungs-Parametermodells ausgewertet und entzerrt dargestellt werden, wobei dann, wenn während der Operation eine schließend ganz oder teilweise entfernt werden und

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kalibrierung des Kalibrierungsmodells aus dem Kalibrierungs-Parametermodell ermittelt wird.

net, daß präoperativ stauische Marken **(16)** im Sichtfeld der Aufnahmevorrichtung **(1)** angebracht werden, deren relativen Bildpositionen in eine Serie von Aufnahmen präoperativ bestimmt werden, wobei jeweils die zugehörigen Kameraparameter oder Kalibrierdaten oder Information über die Absolutposition gespeichert

Marken (16) im Bild die zugehörige Information über die Absolute position, die Kameraparameter, Kalibrierdaten etc. ermittelt oder berechnet werden.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche.

Infrarot-Tracking-Systeme 6 verfolgen, dessen Daten an den Rechner 4 weitergeleitet werden. Die Position eines chirurgischen Instrumentes 7 relativ zum Zielobjekt 8, das sich auf dem Tisch 9 befindet, wird ermittelt, mit den präoperativ gewonnenen CT/MR 10 Daten verglichen, und mit Hilfe des Bildschirms angezeigt. Das chirurgische Instrument 7 ist mit mehreren unterschiedlich orientierten Referenzmarken 11 versehen, die eine Bestimmung von dessen Orientierung er-

Das Infrarot-Tracking-System 6 enthält anhand Fig. 2 ei-

Fig. 3 zeigt eine Variante zur Ermittlung der Position und Orientierung der Röntgenaufnahmevorrichtung 1. Hier werden der Winklenncoder 14 verwendet. Auch diese Daten werden an den Rechner 4 weitergeleitet. Der Vorteil der Verwendung der Winklenncoder 14 besteht darin, daß die Mobilität

unterschiedliche dektierbare Positionen der Königenaufnahmevorrichtung 1 gezeigt.

Gemäß Fig. 4 ist die Königenaufnahmevorrichtung 1 als Stereo-C-Bogen ausgebildet und enthält zwei Quellen 3 und zwei Detektoren 2. Der Stereo-C-Bogen 1 ist in Fig. 5 de-

erhalten dargestellt. Jeder Königs-Quelle 3 ist ein Dekret 2 zugeordnet. Dadurch ist die relative Position und Entfernung der mit dieser Vornichtung gewonnenen Aufnahmen bekannt, und folglich wird kein Tracking-System benötigt. Das chirurgische Instrument 7 enthält keine Referenzmarken, sondern ist für Röntgenstrahlen sichtbar. Wie in

Frage 10 dargestellt, kann anstelle eines einfachen Instrumentes ein robotergesteuertes Instrument 7 verwendet werden. **Frage 11** illustriert eine weitere Ausführungsform einer Röntgenaufnahmevorrichtung mit zwei Quellen. Beiden Quellen 3 ist ein gemeinsamer Detektor 2 zugeordnet. Die Aufnahmen werden abwechselnd gemacht, wobei zwischen

den einzelnen Aufnahmen eine kurze Zeitspanne eingepplant werden sollte, um eine gute Qualität der Aufnahmen zu gewährleisten. Gemäß einer weiteren Ausführungsform, die nicht dargestellt ist, enthält die Königseignahmevorrichtung vier Quellen und einen oder mehrere Detektoren. Es gibt keine

festen Zuordnung zwischen Quellen und Detektoren, so daß
mehrere Kombinationen möglich sind. Für den Fall, daß
sechzehn Ausnahmen unterschiedlicher Orientierung ge-
wonnen werden.
Für den Fall, daß Einzelaufnahmen keine ausstreichende 50

Information über das Zielobjekt geben können, wird aus mindestens zwei Aufnahmen unterschiedlicher Orientierung eine dreidimensionale Rekonstruktion durchgeführt. Wie in Fig. 7 gezeigt, wird das Resultat dreidimensional auf dem Bildschirm 5 angezeigt. Dabei wird die tatsächliche Position des chirurgischen Instrumentes 7 mit der geplanten Position

Fig. 8 illustriert die Vorrichtung zur Bestimmung der In-
formation über die Absolutlage oder der Kameraparameter
aus der Relativlage der Marken 16 im Bild.

Fig. 9 zeigt ein mit Marken II versehenes chirurgisches Instrument 7, wobei die Position der Instrumentenspitze nur aus einer Einzelaufnahme aus dem Schnittpunkt der räumlichen Instrumentenachse mit der Geraden Kamerapursprung Instrumentenspitze im Bildpunkt berechnet werden kann.

kannt ist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19; dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich eine Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmevorrichtung (1) vorgesehen ist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) eine Röntgenaufnahmevorrichtung ist.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Röntgenaufnahmevorrichtung (1) eine Röntgenaufnahmevorrichtung ist, die zwei Quellen (3) und einen Detektor (2) aufweist, wobei die Quellen (3) abwechselnd aktivierbar sind.

24. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Röntgenaufnahmevorrichtung (1) zeichnet, daß die Röntgenaufnahmevorrichtung (1) eine Röntgenaufnahmevorrichtung ist, die vier Quellen (3) und mindestens einen Detektor (2) aufweist, wobei die Quellen (3) abwechselnd aktivierbar sind.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmevorrichtung enthält.

28. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmevorrichtung (1) auf der Aufnahmevorrichtung angebracht ist.

29. Vorrichtung nach Anspruch 25 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) eine CT-, MR-, Ultraschall- oder Infrarot-Aufnahmevorrichtung ist.

30. Vorrichtung nach den Ansprüchen 25 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) ein C-Bogen-Röntgengerät ist.

31. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) eine CT-, MR-, Ultraschall- oder Infrarot-Aufnahmevorrichtung ist.

32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine oder mehrere entfernbare Kalibrierungseinrichtungen enthält.

33. Vorrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Kalibrierungseinrichtungen Kalibrierkörper sind, die leicht zu detektierende Merkmale enthalten, wobei der eine direkt vor der Aufnahmevorrichtung (1) und der andere fest im Raum angebracht ist.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine oder mehrere Referenzmarken (16) im Sichtfeld der Aufnahmevorrichtung (1) aufweist.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens ein chirurgisches Instrument (7) enthält, welches mit für die Aufnahmevorrichtung (1) sichtbaren Referenzmarken (11) versehen ist.

che, dadurch gekennzeichnet, daß die Position und Orientierung der Aufnahmevorrichtung mittels eines Tracking-Systems (6) ermittelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die intraoperative Position und Orientierung der Aufnahmevorrichtung mittels des Tracking-Systems (6) kontinuierlich in Echtzeit verfolgt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Position und Orientierung der Aufnahmevorrichtung mittels eines Infrarot-Tracking-Systems (6) ermittelt wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der relativen Position und/oder Orientierung der Aufnahmevorrichtung mittels Winkelencodern (14) erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der relativen Position und/oder Orientierung der Aufnahmevorrichtung mittels Winkelencodern (14) erfolgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Kalibrierkörper verwendet werden, die leicht zu detektierende Merkmale enthalten, wobei der eine direkt vor der Aufnahmevorrichtung (1) und der andere fest im Raum angeordnet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzmarken (16) wenige im Bild sichtbar sind, wobei die Referenzmarken (16) wenig im Bild sichtbar sind.

13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der direkt vor der Aufnahmevorrichtung (1) angeordnete Kalibrierkörper intraoperativ angebracht bleibt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine Warnung erzeugt wird, wenn der Fehler bei der intraoperativen Kalibrierung einen vorbestimmten Wert überschreitet, und/oder die am nächsten liegende geeignete Position angezeigt wird.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Warnung erzeugt wird, wenn der Winkelabstand zwischen zwei Aufnahmen zu klein oder ungeeignet ist.

16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Warnung erzeugt wird, wenn das Zielobjekt (8) nicht geeignet sichtbar ist.

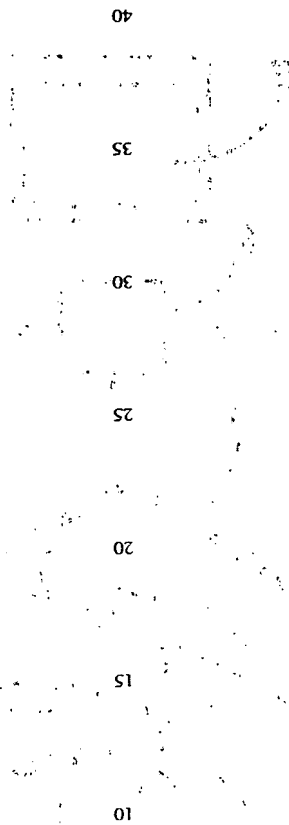
17. Verfahren nach den Ansprüchen 2 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß eine Warnung erzeugt wird, wenn die ermittelte Position eines chirurgischen Instruments (7) von der idealen Position, die präoperativ oder intraoperativ wurde, abweicht.

18. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine oder mehrere für ein Tracking-System (6) sichtbare Marken intraoperativ am Zielobjekt (8) befestigt und verfolgt werden, so daß kleine Bewegungen zwischen Aufnahmen ausgetriggert werden.

19. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche mit einer bildgebenden Aufnahmevorrichtung (1), einer Recheneinheit (4) und einem Bildschirm (5), dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) mindestens zwei in festem Abstand voneinander angeordnete Aufnahmevorrichtungen enthält, so daß die relative Position und Orientierung der Aufnahmevorrichtungen be-

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens ein chirurgisches Instrument (7) enthält, welches für die Aufnahmevorrichtung (1) sichtbar ist.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen



65

60

55

50

45

40

35

30

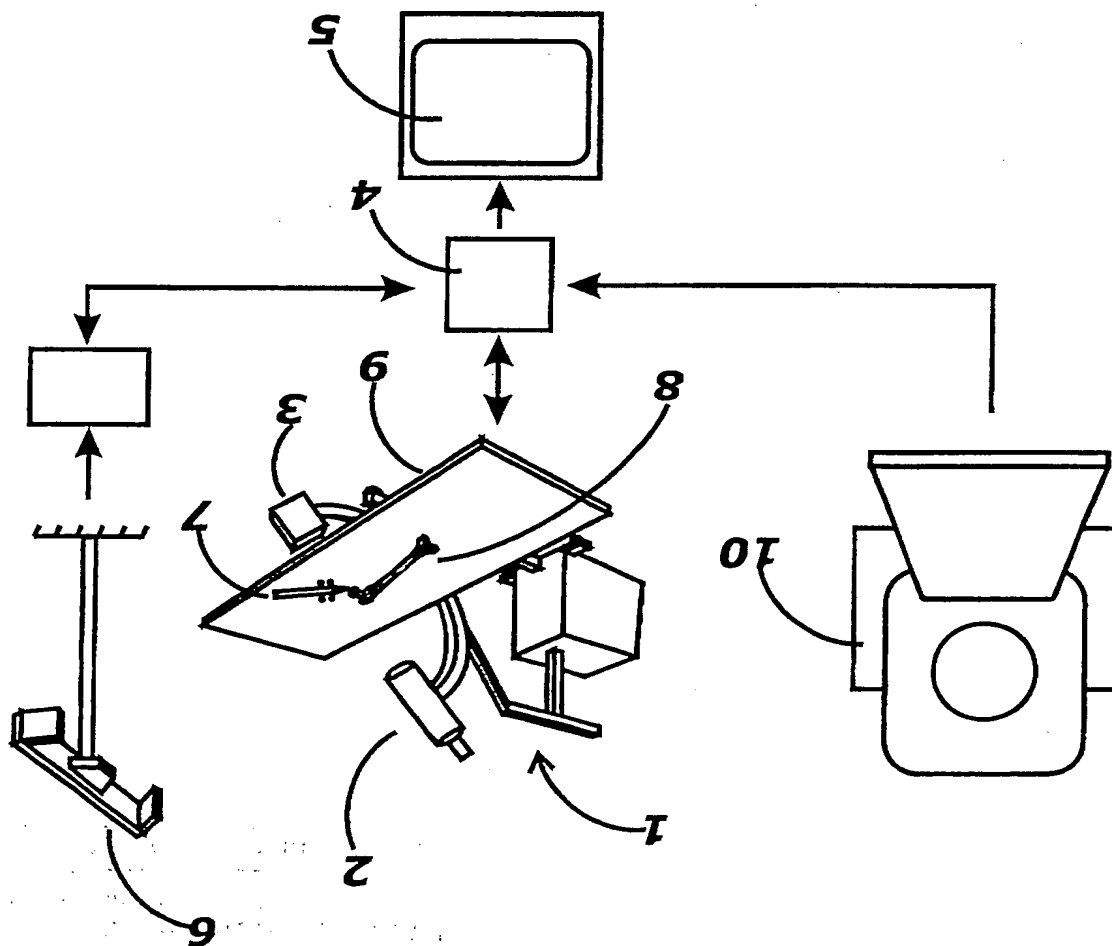
25

20

15

10

Fig. 1



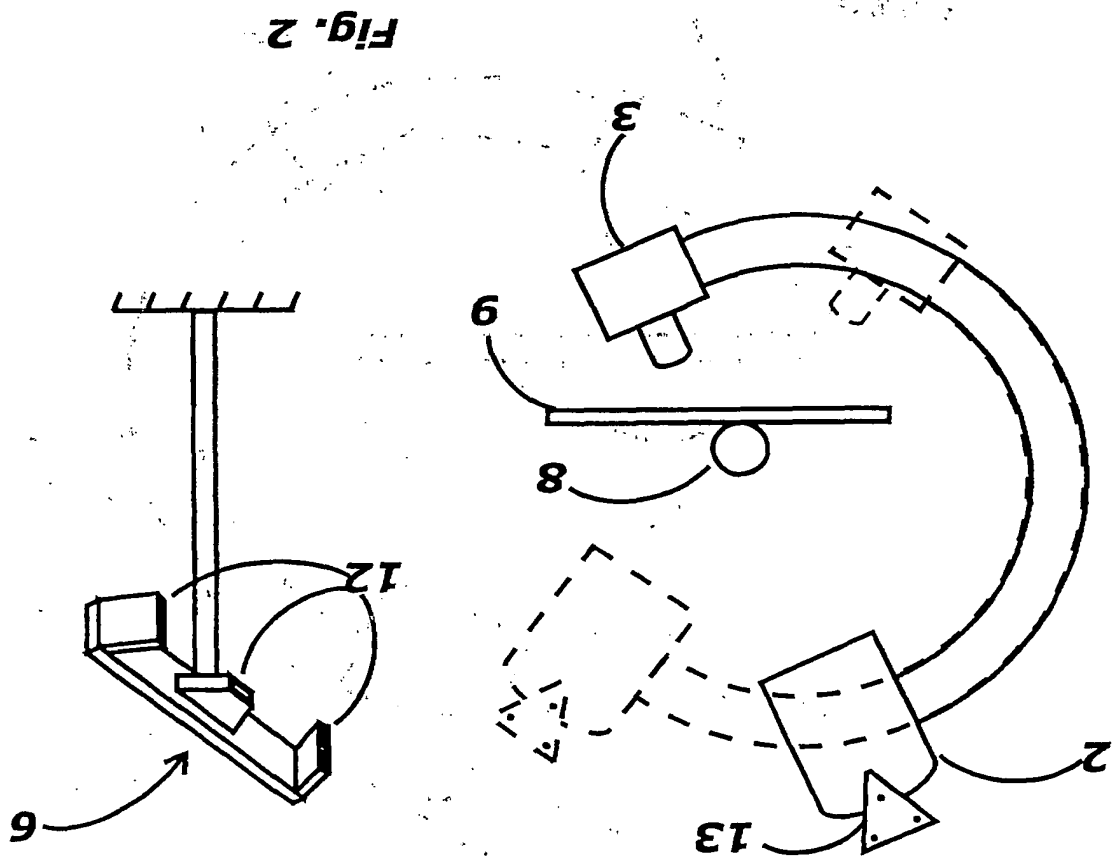
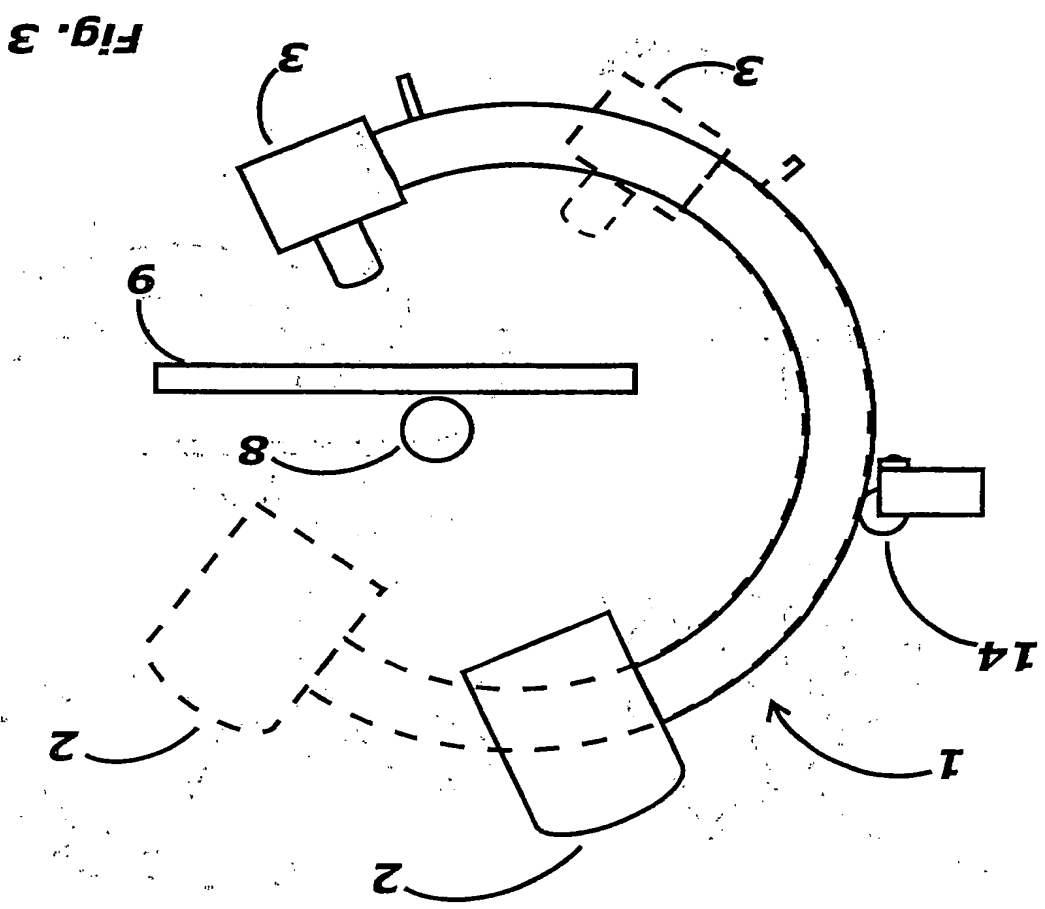
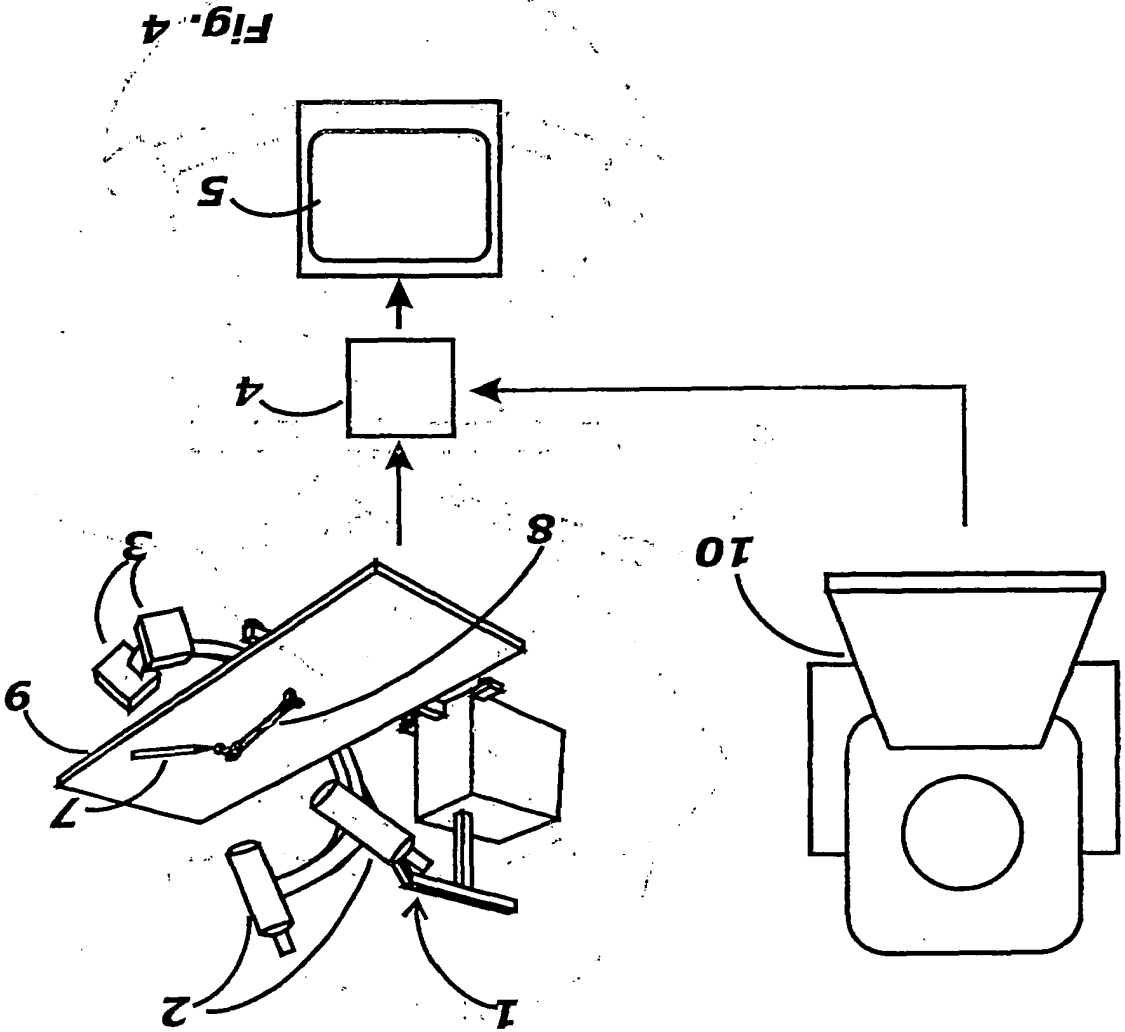


Fig. 2





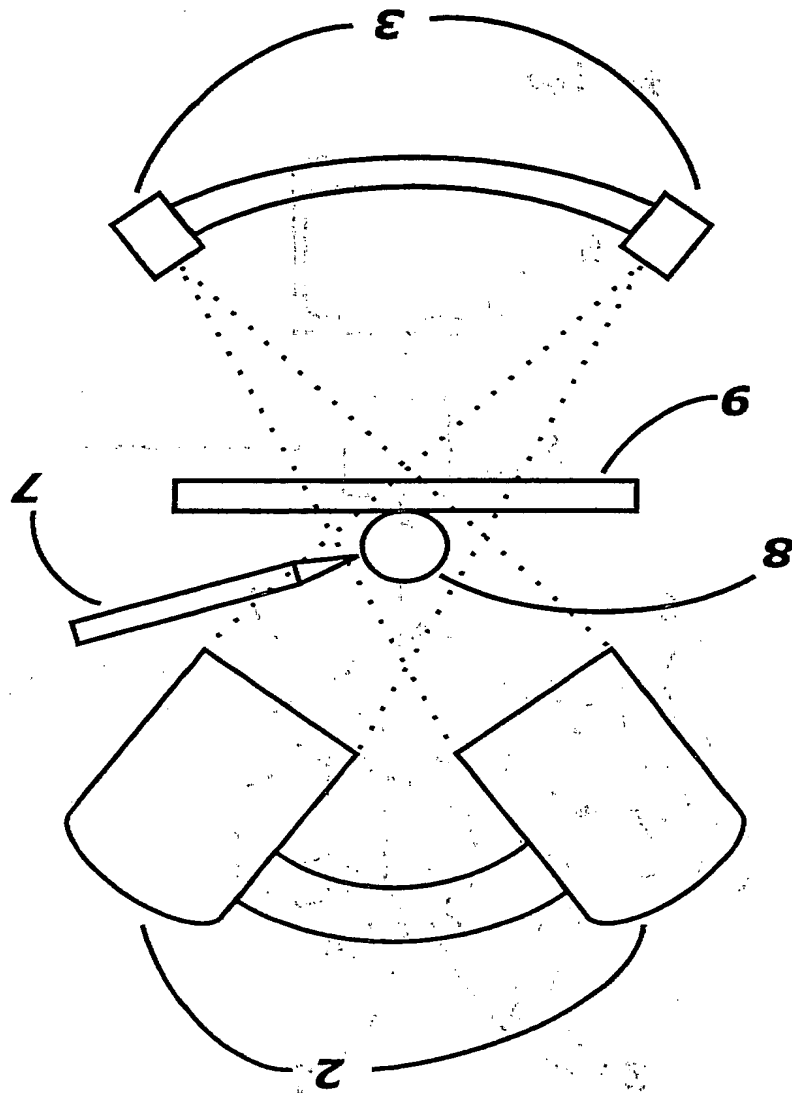
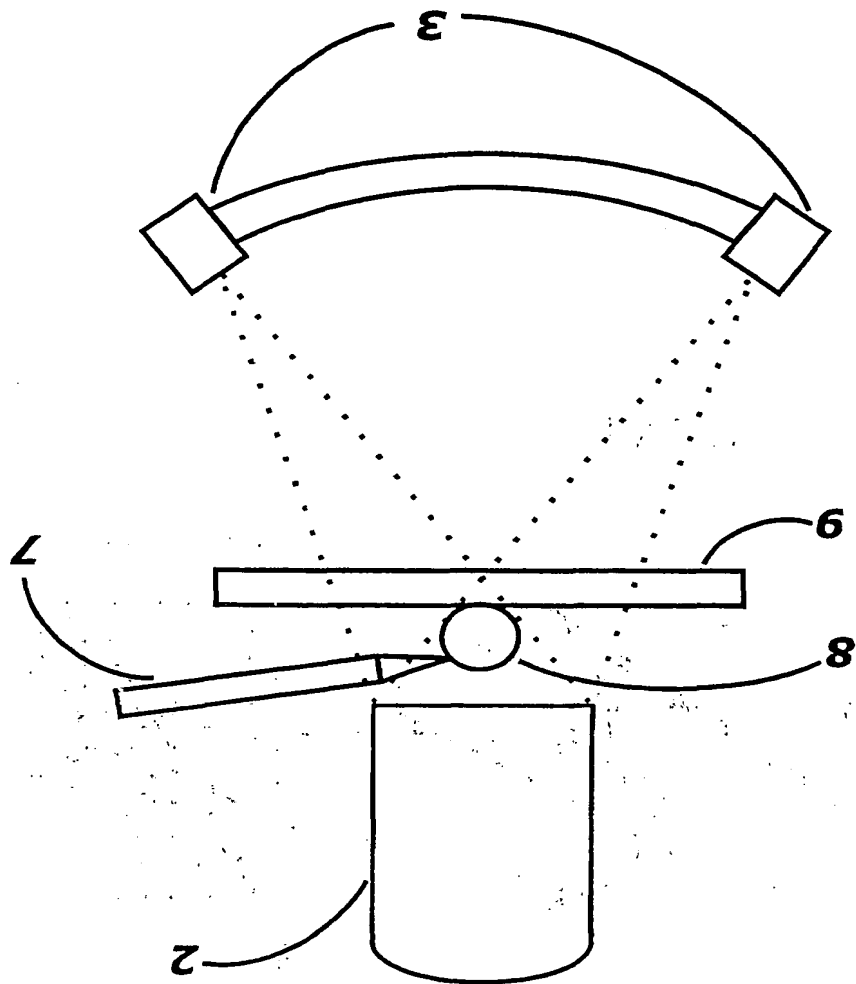


Fig. 5

Fig. 6



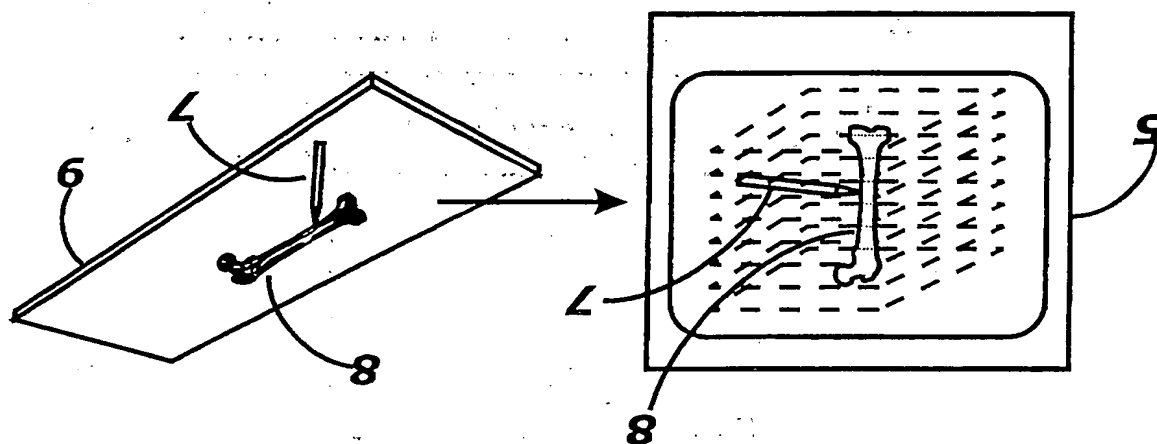


Fig. 7

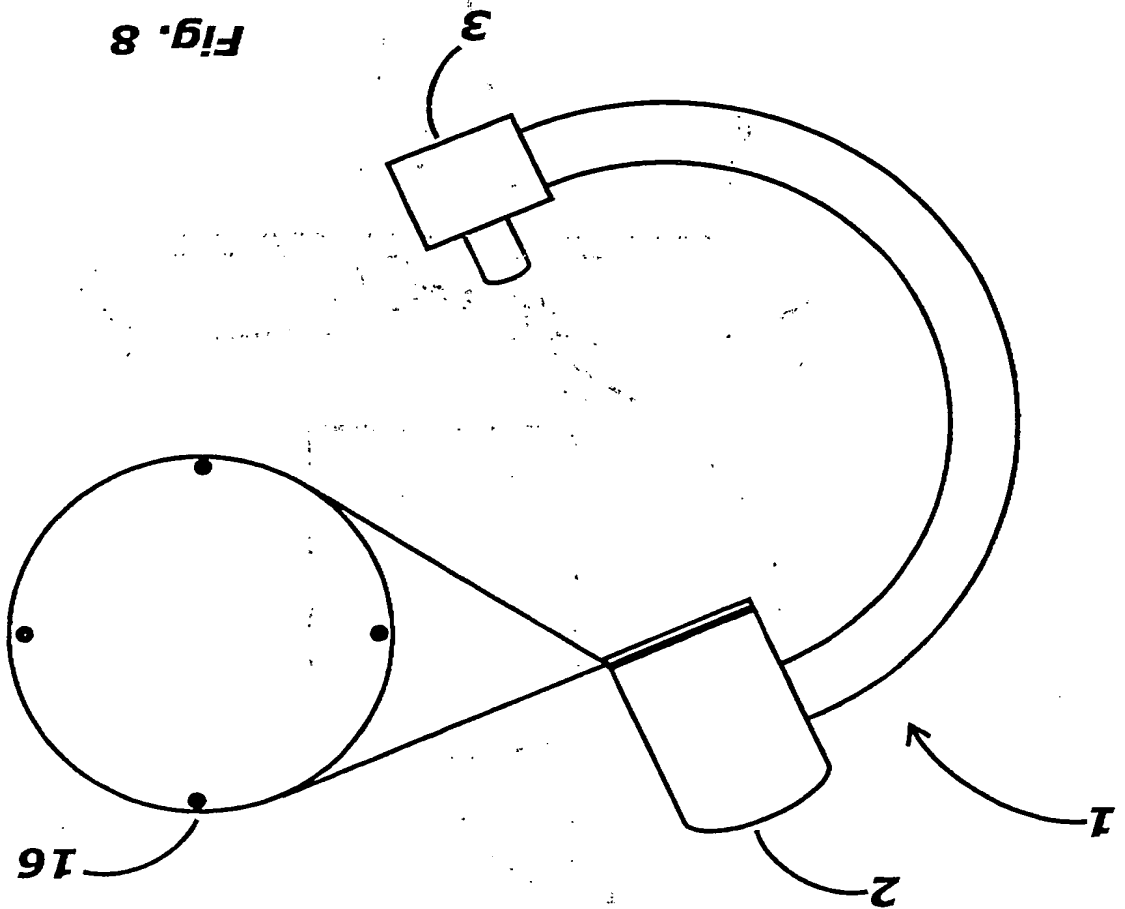


Fig. 8

Fig. 9

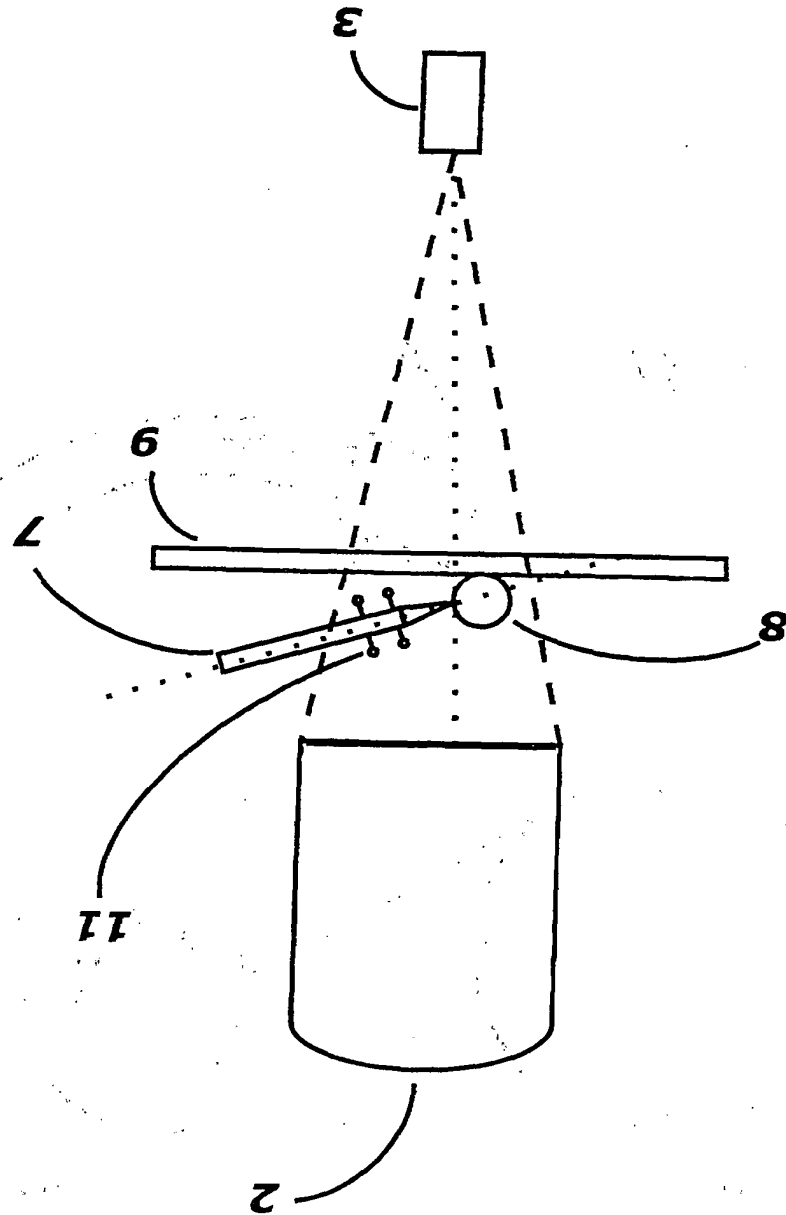


Fig. 10

